

Taxonomías de la visualización de información

Oscar Hernando Guzmán Cortés
oguzman@icesi.edu.co

Fecha de recepción: 12-3-2007

Fecha de selección: 6-11-2007

Fecha de aceptación: 2-10-2007

ABSTRACT

Taxonomies of information visualization are a very useful element to get a better understanding of its characteristics and approaches. This paper presents some of the main taxonomies related to information visualization. Some taxonomies are applied to specific application domains and another taxonomies are independent of its particular context of use. For both researches and users, knowledge of these taxonomies helps to choose the better development of information visualizations in their particular application areas.

KEYWORDS

Information visualization, taxonomy, information visualization techniques.

RESUMEN

Los esquemas de clasificación de los aspectos relacionados con la visuali-

zación de la información conforman un elemento muy útil que permite obtener una mayor claridad sobre sus características y enfoques. En este artículo se presentan las principales clasificaciones o taxonomías acerca de la visualización de la información, y unas son aplicadas a un dominio específico y otras independientes de su contexto de uso. El conocimiento de estas taxonomías les permite a los usuarios e investigadores escoger de una mejor manera lo que más les conviene en términos de la visualización de la información en su área de aplicación.

PALABRAS CLAVE

Visualización de información, taxonomía, técnicas de visualización de información.

Clasificación Colciencias: Tipo 3

I. INTRODUCCIÓN

El número y complejidad de los datos obligan a administrar eficientemente los grandes volúmenes de información producidos, lo que incrementa su dificultad de procesamiento y análisis. La importancia de la visualización gráfica de la información radica en que permite a las personas analizar de mejor manera las diferentes relaciones de los datos. El diseño de dicha visualización se enfoca básicamente en dos aspectos, los contenidos y el diseño gráfico, para los cuales se deben tener en cuenta las técnicas de visualización adecuadas que se han de utilizar para generar la presentación de la información a los diversos usuarios. Uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta en la visualización de la información es escoger adecuadamente la técnica de visualización relevante que se aplique de mejor manera al problema a tratar. Así, por ejemplo, Resnikoff^[1] observó que el procesamiento de grandes cantidades de información por parte del ojo humano y otros sistemas biológicos se logra a través de la integración de una vista enfocada del detalle con una general del contexto. Por consiguiente, las clasificaciones o taxonomías relacionadas con la visualización de la información proporcionan elementos básicos para ayudar a resolver el problema de implementar eficientemente dicha visualización. Además, facilitan el entendimiento de cómo aplicar determinada visualización de acuerdo con la naturaleza de la información y su campo de acción.

La estructura del artículo es la siguiente: la sección 2 indica los conceptos básicos de la representación de la información; la sección 3 muestra las diferentes clasificaciones de la visualización de la información, diferenciando las que están basadas en los tipos de datos y las características de la información de las basadas en las técnicas de visualización; y, finalmente, la sección 4 presenta las conclusiones.

2. REPRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para poder representar la información debe tenerse en cuenta un par de actividades muy importantes: la utilización de medidas, y la determinación de la validez de dichas medidas. Medir¹ se puede definir como la comparación de dos cantidades de la misma magnitud, tomando arbitrariamente una de ellas como unidad de medida. Fenton *et al.*^[2] definen la medición como “*el proceso por el cual se asignan números o símbolos a atributos de entidades del mundo real de tal forma que los describa de acuerdo con reglas claramente definidas*”. En cuanto a la validez de la medición, se puede decir que se basa en el respeto a los principios de la teoría de la medición.

La teoría de la medición se refiere al estudio de cómo se asignan números a los objetos y fenómenos, y define los tipos de cosas que pueden ser medidos, cómo relacionar las diferentes medidas con otras, y el problema del error en el proceso de medición.

1 Según el diccionario de la lengua española de la Real Academia Española, medir es comparar una cantidad con su respectiva unidad, con el fin de averiguar cuántas veces la segunda está contenida en la primera.

Uno de los problemas que aborda la teoría de la medición es el de la representación,² en donde se busca delimitar con precisión lo que se va a representar numéricamente. Algunos investigadores (Krantz *et al.*^[3]) proponen ideas sobre medición que se pueden extender para describir los problemas de la representación de manera general. Mackinlay^[4] plantea el problema de la representación como el descubrimiento de una representación gráfica de un conjunto de relaciones de un dominio específico que satisfacen los criterios de expresividad³ y efectividad⁴ (Mackinlay *et al.*^[5]). Una de las aportaciones más importantes para aplicar la teoría de la representación es la planteada por Briand *et al.*^[6] como *medición basada en propiedades*, en la que se presentan las relaciones empíricas que se pueden observar en los atributos de longitud, tamaño, complejidad, acoplamiento y cohesión de un sistema. En trabajos posteriores, Poels *et al.*^[7] proponen una ligera modificación a las condiciones propuestas en la medición basada en propiedades para trabajar con medidas de software.

3. CLASIFICACIONES DE LA VISUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

3.1. Taxonomías basadas en los tipos de datos y características de la información

3.1.1. Taxonomía de características de la información

Roth *et al.*^[8] proponen una taxonomía de características de la información⁵ que permite crear representaciones que reflejen las necesidades individuales de un grupo diverso de usuarios. Esta taxonomía define los objetivos de representación para interfaces inteligentes que despliegan gráficos, y utiliza varios criterios para juzgar la relevancia de las diferentes características de los datos: distinción entre los tipos de información que puede expresar una determinada técnica de visualización, efectividad de las técnicas de visualización para representar diferentes tipos de información, determinación de cómo integrar la información en el despliegue, y facilidad de aplicación por parte de los usuarios. Las diferentes dimensiones en las que se pueden categorizar los datos para soportar el diseño de su presentación son: *tipos de datos*; *propiedades de la estructura relacional*; *expresión de conexiones entre relaciones*; *distinción de relaciones unarias, binarias, y n-arias*; y las *características de los datos* basados en los objetivos de búsqueda de información del usuario. La Tabla 1 muestra las dimensiones que define la taxonomía de características de la información.

3.1.2. Taxonomía de la información multimedia

Arens *et al.*^[9] proponen una taxonomía conceptual de alto nivel que abarca datos cualitativos, y en la que se desarrolla un vocabulario para caracterizar la información multime-

2 Los otros problemas que aborda la teoría de la medición son el de la unicidad y el de la significación.

3 El criterio de expresividad se refiere a la consistencia requerida para los sistemas de representación en la teoría de la medición.

4 El criterio de efectividad de una representación se refiere al hecho de qué tan fácil es hacerle un juicio de percepción, es decir, qué tan fácil es evaluar las relaciones en el dominio de la representación.

5 Se refiere a la descripción de las propiedades semánticas y estructurales de la información relevante para el diseño de la presentación.

Tabla 1. Dimensiones de la taxonomía de características de la información.

| DIMENSIÓN | EJEMPLOS |
|--|---|
| Tipos de datos | <ul style="list-style-type: none"> • Conjuntos ordenados: cuantitativos, ordinales, y nominales. • Coordenadas: puntos, localizaciones temporales-espaciales, etc. • Cantidades. • Miembro de dominio: tiempo, espacio, temperatura, masa, etc. |
| Propiedades de la estructura relacional | <ul style="list-style-type: none"> • Cobertura. • Cardinalidad. • Unicidad. |
| Expresión de conexiones entre relaciones | <ul style="list-style-type: none"> • Tipos de datos complejos. • Dependencias algebraicas. |
| Distinción de relaciones unarias de las binarias y n-arias | <ul style="list-style-type: none"> • Relaciones significantes.⁶ • Relaciones de significancia.⁷ • Relaciones críticas.⁸ |
| Características de datos basados en los objetivos de búsqueda de información del usuario | <ul style="list-style-type: none"> • Función de despliegue. • Información de relación y distribución. |

dia. Los autores de esta taxonomía se centraron en el problema de la localización de medios: *dados una información arbitraria y un número cualquiera de medios, ¿cómo, y en qué medida se selecciona un medio en particular para el despliegue de cada porción de la información?* La taxonomía propone un enfoque de generalización de dos etapas: i) asignar al medio cada particularidad que caracteriza a los tipos de datos, y no a cada tipo de dato; y, ii) asignar las características de los datos a las

características de los medios, y no al medio. La generalización de dos etapas provee un conjunto de reglas que relacionan las características de la información y las características de los medios para proporcionar buenas presentaciones multimedia. Estas características se pueden clasificar en cuatro grandes grupos: las características del medio usado, la naturaleza de la información a presentar, las metas y características del productor, y las características del receptor y la situación comunicativa (Tabla 2).

⁶ Por ejemplo, esta relación distingue variables de un conjunto que pasa alguna prueba estadística.

⁷ Representa las relaciones binarias construyendo un segundo dominio para cada uno de los dos elementos de la relación.

⁸ Por ejemplo, esta relación distingue las actividades de riesgo de un proyecto.

Tabla 2. Taxonomía de la información multimedia.

| CARACTERÍSTICAS | ELEMENTOS | |
|--|---|-----------------------------------|
| Medio | Dimensión del transportador | |
| | Dimensión semántica interna | |
| | Resistencia temporal | |
| | Granularidad | |
| | Tipo de medio | |
| | Capacidad de detección por defecto | |
| | Bagaje | |
| Naturaleza de la información | Propiedad intrínseca | Dimensión, Temporalidad, Urgencia |
| | Propiedad de clase | Orden, Densidad, Nombre |
| | Propiedad de colección | Volumen |
| Metas y características del productor | Conocimiento mental o estado del receptor | |
| | Relación entre productor y receptor | |
| Características del receptor y la situación comunicativa | Conocimiento del tópico | |
| | Interés en el tópico | |
| | Opiniones del tópico | |
| | Habilidad del lenguaje | |
| | Estado emocional | |

Las características de los medios son: *dimensión del transportador*⁹ (medida del número de dimensiones usualmente requeridas para mostrar la información presentada por el medio), *dimensión semántica interna* (número de dimensiones presentes en el sistema semántico interno¹⁰ del transportador), *resistencia temporal* (indicación de si la información presentada varía durante el período de duración de la presentación: permanente o temporal), *granularidad* (indicación de si pequeñas variaciones arbitrarias a lo largo de cualquier

dimensión de la presentación tienen significado en la denotación: continuo o discreto), *tipo de medio* (indica qué tipo de medio es necesario para la presentación de la información: auditivo o visual), *capacidad de detección por defecto* (medida por defecto del grado de intrusión de la presentación creada por el medio para el consumidor: bajo, medio bajo, medio alto, alto), y *bagaje* (medida de la cantidad de información extra que un consumidor debe procesar para interpretar correctamente al transportador).

⁹ El término transportador hace referencia a la parte de una presentación que le comunica al consumidor la información principal requerida o relevante en el contexto comunicativo. Por consumidor se entiende la persona que interpreta una comunicación.

¹⁰ El sistema semántico interno es una estructura interna a la que se le puede asignar una denotación del “mundo real”, permitiéndole al transportador de la información ser usado por otros transportadores para que puedan adquirir su información interpretada. Por ejemplo, si el transportador de la información es un gráfico, su sistema semántico interno podrían ser los valores de las coordenadas de los ejes del gráfico. Algunos transportadores de información no presentan una estructura interna.

En cuanto a la naturaleza de la información a presentar se consideran tres tipos de propiedades: propiedades intrínsecas del ítem específico, propiedades asociadas con la clase a la que el ítem pertenece, y propiedades de la colección de ítemes que eventualmente se presentarán. Las características de las propiedades intrínsecas son *dimensión* (simple, sencillo, doble, múltiple, complejo), *temporalidad* (vivo, muerto), y *urgencia* (urgente, rutinario). Las características de las propiedades de clase son *orden* (cuantitativo, ordinal, nominal), *densidad* (denso, discreto), y *nombre* (identificación, introducción). Y la característica de las propiedades de colección es el *volumen* (mucho, poco, singular).

Las metas e intenciones del productor se pueden caracterizar con respecto al conocimiento mental o estado del receptor, y con respecto a la relación entre el productor y el receptor. La naturaleza y situación del receptor se pueden caracterizar en términos del

conocimiento del tópico, interés en el tópico, opiniones del tópico, habilidad del lenguaje, y estado emocional.

3.1.3. Taxonomía TTT¹¹

A través de su trabajo de investigación, Schneiderman^[10] propone otra taxonomía de la visualización de la información referente a las características de los datos, la cual está compuesta por siete tipos de datos y siete tareas.

Los tipos de datos caracterizan los objetos de información y están organizados de acuerdo con los problemas que los usuarios intentan resolver: *unidimensionales*, *bidimensionales*, *tridimensionales*, *multidimensionales*, *temporales*, *árbol*, y *red*. Las tareas son acciones que los usuarios desean realizar sobre la información y son de un nivel alto de abstracción: *descripción general*, *zoom*, *filtrado*, *detalles bajo demanda*, *relación*, *historia*, y *extracción*. La Tabla 3 muestra la matriz que define la taxonomía TTT.

Tabla 3. Taxonomía de tipos de dato por tarea de la visualización de la información.

| | | TAREAS | | | | | | |
|---------------|--------------------|---------------------|------|----------|-----------------------|----------|----------|------------|
| | | Descripción general | Zoom | Filtrado | Detalles bajo demanda | Relación | Historia | Extracción |
| TIPO DE DATOS | Unidimensionales | | | | | | | |
| | Bidimensionales | | | | | | | |
| | Tridimensionales | | | | | | | |
| | Multidimensionales | | | | | | | |
| | Temporales | | | | | | | |
| | Árbol | | | | | | | |
| | Red | | | | | | | |

¹¹ A esta taxonomía el autor la denominó TTT, por Type by Task Taxonomy.

3.1.4. Taxonomía de análisis de datos de información heterogénea

Varios investigadores señalan que los sistemas automatizados de generación de gráficos deberían ser capaces de diseñar presentaciones efectivas para información heterogénea, tanto cualitativa como cuantitativa, en ambientes estáticos y dinámicos. Por esto, Zhou *et al.*^[11] definen una taxonomía de análisis de datos que se puede utilizar para caracterizar información heterogénea en donde, además de capturar las propiedades de presentación de los datos, se toman en cuenta los objetivos de búsqueda de información y las preferencias de interpretación visual de los usuarios.

Esta taxonomía utiliza 6 dimensiones para describir las características de los datos (Tabla 4): *tipos de datos* (distinción de la información), *dominio de los datos* (categorización), *atributos de los datos* (propiedades), *relaciones de los datos* (conexiones), *rol de los datos* (objetivos de búsqueda de información), y *sentido*¹² *de los datos* (preferencias de interpretación visual).

3.1.5. Taxonomía para el diseño de visualizaciones

Card *et al.*^[12] proponen un marco de referencia en el que se define un esquema de mapeo de la morfología del espacio de diseño de las visualizaciones. El primer elemento considerado son los *datos*: el punto de partida es la pregunta de qué se

puede representar como un conjunto de valores tomados de un conjunto de variables. La principal distinción hecha para los datos son sus valores: *nominal* (valores iguales o diferentes de otros), *orden* (valores que obedecen a una relación <), y *cuantitativo* (valores a los que se les pueden aplicar operaciones aritméticas); estas distinciones se denotan como *N*, *O*, y *Q* respectivamente. Se pueden distinguir subtipos de *Q* para variables Q_{xy} intrínsecamente espaciales, y variables espaciales que representan coordenadas geográficas. También se puede distinguir entre datos *D* del conjunto original de datos y datos *D'* que han sido seleccionados del conjunto original y posiblemente transformados por una función *F*.

El segundo elemento considerado son las *visualizaciones*: se considera que las visualizaciones están compuestas por sus marcas o señales, y sus propiedades gráficas. El modelo indica que las visualizaciones se componen de marcas (punto, línea, área, superficie, volumen); procesamiento controlado de características gráficas y propiedades gráficas procesadas automáticamente, las cuales comprenden codificación retinal (color, tamaño, forma, nivel de gris, orientación, textura, conexión, cercamiento) y posición (X, Y, Z, T). Este esquema utiliza una tabla para describir las visualizaciones y hacer las comparaciones más fáciles (Tabla 5). La notación usada se puede ver en la Tabla 6.

¹² La palabra *sentido* hace referencia a uno de los posibles significados que puede tener una palabra o frase, por lo que *sentido de los datos* se refiere a la opción que se prefiere para presentar visualmente los datos.

Tabla 4. Taxonomía de la caracterización de los datos.

| DIMENSIONES | ELEMENTOS | |
|---------------|-----------------------|---------------|
| TIPO DE DATOS | Objetos atómicos | |
| | Objetos compuestos | Conjunto |
| | | Estructura |
| DOMINIO | Entidad | |
| | Concepto | |
| | Medida | |
| ATRIBUTOS | Forma | |
| | Material | |
| | Localización | |
| | Temporalidad | |
| | Importancia | |
| | Atributos compuestos | Orden |
| | | Escalabilidad |
| | | Continuidad |
| RELACIONES | Dependencia funcional | |
| | Constitución | |
| | Atributo | |
| | Enumeración | |
| ROLES | Categorización | |
| | Agrupación | |
| | Identificación | |
| | Distinción | |
| | Comparación | |
| | Asociación | |
| | Ranking | |
| | Correlación | |
| | Distribución | |
| SENTIDO | Etiqueta | |
| | Lista | |
| | Gráfico | |
| | Símbolo | |
| | Retrato | |

Tabla 5. Tabla de descripción de las visualizaciones.

| Datos | | | | Controlados | Automáticos | | | | | | Interacción | |
|----------|---|---|----|-------------|-------------|---|---|---|---|---|-------------|---|
| Variable | D | F | D' | CP | M | R | X | Y | Z | T | V | W |
| | | | | | | | | | | | | |

Tabla 6. Notación usada en la tabla de descripción de las visualizaciones.

| Símbolo | Significado |
|----------|--|
| Variable | Nombre del caso o dimensión de la variable |
| D | Tipo de dato: <ul style="list-style-type: none"> • N (Nominal) • O (Ordinal) • Q (Cuantitativo) • Q_x (Intrínsecamente espacial) • Q_{lon} (Geográfico) • NxN (conjunto mapeado a él mismo - gráficos) |
| F | Función para codificación de datos: <ul style="list-style-type: none"> • f (no especificada) • > (Filtro) • s (ordenamiento) • mds (escalamiento multidimensional) • ↑ (entrada interactiva de una función) |
| D' | Tipo de dato codificado |
| CP | Procesamiento de control tx (texto) |
| M | Tipo de marca: <ul style="list-style-type: none"> • P (Punto) • L (Línea) • S (Superficie) • A (Área) • V (volumen) |
| R | Propiedades retinales: <ul style="list-style-type: none"> • C (Color) • S (Tamaño) • — (Conexión) • [] (Cercamiento) |
| XYZT | Posición en el espacio y tiempo: <ul style="list-style-type: none"> • N, O, Q. • * (uso no semántico del espacio-tiempo) |
| V | Vista de transformación: <ul style="list-style-type: none"> • hb (mapeo hiperbólico) |
| W | Widget: <ul style="list-style-type: none"> • sl (slider) • rb (radio buttons) |

3.1.6. Modelo de estado de datos

Chuah *et al.*^[13] incorpora una caracterización más detallada de los filtros de datos en el contexto de la visualización de la información, extendiendo el marco de trabajo de interacción de usuarios propuesto por Foley *et al.*^[14] Por otro lado, Tweedie^[15] presenta un modelo de estados similar al de Chuah *et al.*^[13], y un modelo de transformación de datos similar al de Lee *et al.*^[16]. Motivados por estos trabajos, Chi *et al.*^[17] proponen una taxonomía que incluye operadores e interacciones en los sistemas de visualización; caracteriza las operaciones y abarca una variedad de diferentes técnicas de visualización; establece una manera de explorar y evaluar el espacio de diseño de los operadores de visualización; y ayuda a los usuarios finales en sus tareas de análisis. La taxonomía propone un modelo de estados que hace énfasis en el proceso de análisis del usuario final y en los resultados intermedios; este modelo se basa en el proceso de visualización que comienza con los datos (valor) y termina con la visualización (vista). En este modelo los operadores tienen algunas propiedades fundamentales como la que indica si dicho operador es una vista¹³ o un valor¹⁴ y el grado de similitud con otros operadores (similitud funcional¹⁵ y operacional¹⁶). Esta propiedad vista/valor de los operadores se convierte en una cla-

sificación fundamental para saber en qué etapa del proceso de visualización se encuentran.

El modelo de estado de datos consta de cuatro etapas, tres tipos de transformación, y cuatro tipos de operadores para cada etapa (Figura 1). Las cuatro etapas del modelo son: valor, abstracción analítica, abstracción de visualización y vista (Tabla 7). Tres tipos de operadores de transformación de datos se necesitan para la conversión de datos de una etapa a la otra: transformación de datos, transformación de visualización y transformación de mapeo visual (Tabla 8). Los operadores internos de etapa son operadores que no cambian la estructura de los datos y están divididos en cuatro tipos que se corresponden a cada una de las etapas. Por consiguiente, a través del modelo de estado de datos se pueden clasificar los operadores de acuerdo con la etapa en la que se encuentran involucrados: etapa de datos, transformación de datos, etapa de abstracción de visualización, transformación de visualización, etapa de abstracción de visualización, transformación de mapeo visual y etapa de vista (Tabla 9).

3.1.7. Taxonomía de la visualización de la información tri-dimensional

Algunos experimentos (Hubona *et al.*^[18], y Ware *et al.*^[19]) indican que el despliegue de datos en tres dimensio-

13 Se refiere a la visualización final. Un operador de vista solamente cambia el contenido de la visualización.

14 Se refiere a los datos sin procesar. Un operador de valor genera un nuevo conjunto de datos.

15 Los operadores son similares funcionalmente si son semánticamente similares a través de las aplicaciones pero sus implementaciones son diferentes para distintos tipos de datos.

16 Los operadores son similares operacionalmente si sus implementaciones se mantienen exactamente iguales de aplicación en aplicación.

Tabla 7. Etapas del modelo de estado de datos.

| ETAPA | DESCRIPCIÓN |
|------------------------------|--|
| Valor | Datos sin procesar |
| Abstracción analítica | Metadatos |
| Abstracción de visualización | Información a visualizar usando una técnica de visualización |
| Vista | Producto final del mapeo de visualización en donde los usuarios ven e interpretan los gráficos presentados |

Tabla 8. Operadores de transformación.

| TIPOS DE TRANSFORMACIÓN | DESCRIPCIÓN |
|-------------------------|--|
| De datos | Generación de abstracción analítica a partir del valor |
| De visualización | Reducción de una abstracción analítica en alguna forma de abstracción de visualización (contenido visible) |
| De mapeo visual | Presentación de un gráfico a partir de información que se encuentra en un formato visible |

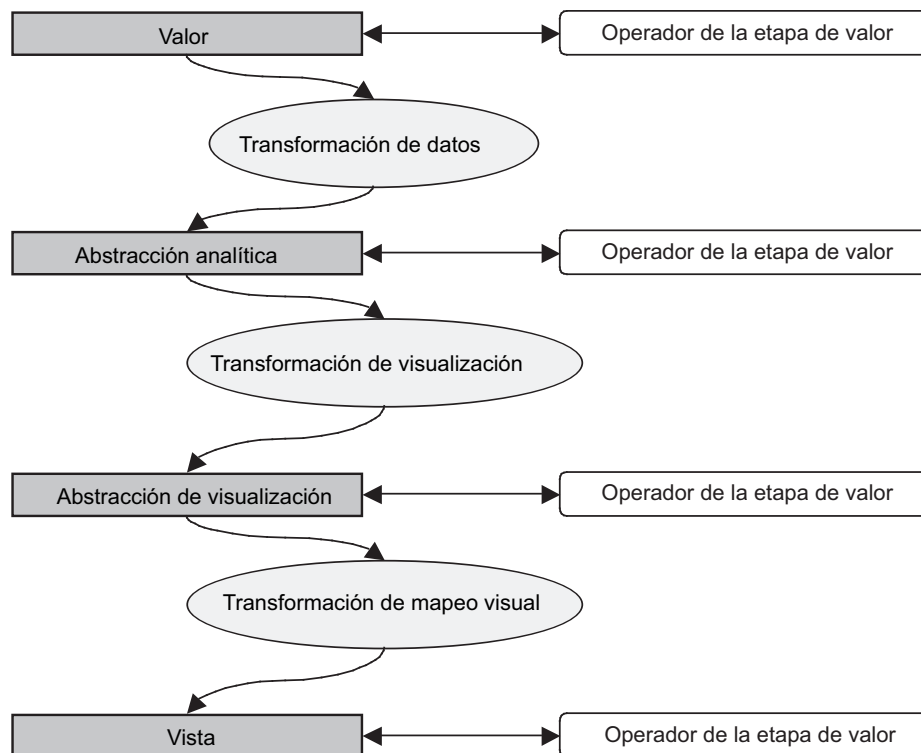


Figura 1. Modelo de estado de datos.

Tabla 9. Clasificación de operadores.

| CLASIFICACIÓN | OPERADOR | DESCRIPCIÓN |
|--|--------------------------------|---|
| Operadores de la etapa de datos | General | Filtrado de valores, det. de subconjuntos. |
| | Dominio algebraico | Diferencia/adición de 2 conjuntos de datos. |
| | Imagen | Girar, rotar, cortar, etc. |
| | Conjunto de puntos | Filtrado de datos. |
| | Web | Colección de páginas web |
| Operadores de transformación de datos | Textual | Vectores textuales de cómputo |
| | Gris | Extracción de superficies. |
| | Conjunto de puntos | Triangulación. |
| | Web | Redes de documentos hipertextos. |
| Operadores de la etapa de abstracción de visualización | Vector | Selección de un subconjunto de vectores. |
| | Superficie | División de una región. |
| | Web | Selección de subconjunto de nodos de red. |
| Operadores de transformación de visualización | Reducción de dimensión | Escalamiento multidimensional o análisis de componentes principales. |
| | Clustering | Reglas de asociación, clustering multimodal, propagación de activación. |
| | Red | Recorrido en profundidad y en anchura. |
| Operadores de la etapa de abstracción de visualización | Gris | Simplificación por reducción de número de regiones. |
| | Red | Simplificación por consolidación de nodos. |
| | Jerarquía | Disminución de profundidad del árbol. |
| Operadores de transformación de mapeo visual | Conjunto de puntos | Dispersión de imágenes. |
| | Superficies multidimensionales | Jerarquías. |
| | Red | Redes. |
| Operadores de la etapa de vista | Manipulación de objetos | Rotación, traslación, escala, zoom. |
| | Cámara | Posición y orientación. |
| | General | Filtro. |

nes, en vez de dos, puede hacer que los usuarios los entiendan más fácilmente. Teniendo en cuenta aspectos cognitivos, Wiss *et al.*^[20] presentan un marco de trabajo para la clasificación de la visualización de la información tri-dimensional, e indican que uno de los propósitos de la visualización de la información es la comunicación de propiedades de la información a las

personas, por lo que es muy importante considerar la cognición humana para su clasificación. Los tres aspectos cognitivos de la clasificación son: *atención, abstracción y capacidad*. La *atención* humana es atraída por diferencias en aspectos visuales, tales como el color, la forma, la textura, el tamaño, etc.; la utilización de símbolos se convierte en un medio de cen-

trar la atención de una persona sobre ciertos elementos de interés. A través de la *abstracción* se puede obtener un contexto global por medio de clusters o grupos de partes de la información para formar elementos de alto nivel; con la abstracción se le da al usuario el nivel de detalle que necesita. La *capacidad* de un elemento visual es una propiedad que este proporciona para indicar que se puede hacer algo con él (Chuah *et al.*^[21] muestran en su trabajo el aspecto de la capacidad de manera muy explícita).

3.1.8. Análisis del dominio para la visualización de datos

La mayoría de las visualizaciones se diseñan utilizando las siguientes etapas: formateo de datos en tablas, selección de estructuras visuales y visualización de los datos en la pantalla. Espinosa *et al.*^[22] adicionan, explícitamente, el análisis de dominio al proceso de diseño de visualizaciones con el propósito de producir herramientas de software más usables. El análisis explícito del dominio es útil porque permite evaluar la efectividad

de las visualizaciones basándose en las necesidades y requerimientos de los usuarios, lo cual requiere un método sistemático para reunir el conocimiento sobre las tareas y las heurísticas para guiar el proceso de selección de gráficos y técnicas de interacción. El análisis del dominio para la visualización de datos (Domain Analysis for Data Visualization-DADV) es una técnica que se utiliza para investigar un dominio en el cual se diseñarán la visualización de los datos. Las salidas del análisis del dominio son la descripción estructurada del dominio, la descripción las tareas de usuarios y una lista de necesidades de visualización (Tabla 10).

La descripción estructurada del sistema incluye solamente los objetos relacionados con la solución de problemas: *entidades* (conjunto de atributos que describen los objetos del mundo), *relaciones entre entidades* (relaciones matemáticas o causales), *supuestos* (entendimiento de las limitaciones), y *fuentes de datos* (fuentes usadas en el dominio). La descripción de las tareas del usuario incluye las tareas nece-

Tabla 10. Salidas del análisis del dominio

| SALIDA | ELEMENTOS |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Descripción estructurada del dominio | Entidades |
| | Relaciones entre entidades |
| | Supuestos |
| | Fuentes de datos |
| Descripción las tareas de usuarios | Tareas de solución de problemas |
| | Etapas de la solución del problema |
| | Heurísticas de análisis de datos |
| Lista de necesidades de visualización | Heurísticas de análisis de datos |
| | Técnicas de visualización sugeridas |
| | Nivel de detalle necesario |

sarias para resolver el problema, las etapas seguidas para resolver el problema, y heurísticas del análisis de datos utilizado por los usuarios. Las necesidades de visualización incluyen las heurísticas de análisis de datos, técnicas de visualización sugeridas, y el nivel de detalle necesario.

3.1.9. Taxonomía de la visualización de la información

Pfitzner *et al.*^[23] proponen una taxonomía para la visualización de la información que se caracteriza en términos de datos, tareas, habilidades y contexto, así como por las dimensiones que se relacionan con el hardware de entrada y salida, las herramientas de software, las interacciones del usuario y las habilidades de percepción de las personas. Por lo tanto, esta taxonomía considera cinco factores en relación con el objetivo de la aplicación y los usuarios potenciales: *datos, tareas, interactividad, nivel de habilidad y contexto*.

Basado en el trabajo de Bertin^[24], el factor de los *datos* define dos conceptos generales: tipo de datos y relaciones entre los datos. Los tipos de datos pueden ser de alto nivel (meta-información) y bajo nivel (objetos y atributos). Las *relaciones entre los datos* se dividen en cinco categorías: lineal, circular, árbol ordenado, árbol no ordenado e hiperespacio. Las *tareas* definen lo que los usuarios quieren alcanzar y cómo lo hacen utilizando las funcionalidades de la interfase. El dominio de las tareas se divide en siete dimensiones, de acuerdo con la taxonomía TTT (Schneiderman^[10]): descripción general, zoom, filtrado, detalles bajo demanda, relación, historia y extracción. La *interactividad* se divide en cinco tipos: manual,

mecánica, instrucción, dirigida y automática. El factor del *nivel de habilidad* establece el grado en que la habilidad del usuario afecta la calidad de un resultado, desde novato hasta experto. El *contexto* describe aquellos factores externos al uso del computador que influyen al usuario en el uso de la visualización de la información, y define cinco dimensiones: experiencia, intenciones, necesidades, historia y dispositivos.

En esta taxonomía se consideran también dos formas generales en las que la información se puede presentar al usuario: texto o alguna forma de representación pictórica abstracta. Consecuentemente se definen ocho dimensiones en las que la información se puede desplegar, y que se agrupan en dos categorías: variables de la imagen (plano, tamaño, valor y relación), y variables diferenciales (textura, orientación, forma y color). Adicionalmente, en términos del despliegue, las salidas de información que se presentan al usuario se dan a través de una interacción estática o dinámica. La Figura 2 muestra los elementos que componen la taxonomía de la visualización de la información.

3.1.10. Taxonomía analítica de tareas

Amar *et al.*^[25] indican que las taxonomías existentes de niveles y sistemas de tareas de visualización se enfocan más hacia el diseño de representaciones particulares que hacia la facilitación de la actividad analítica del usuario, por lo que proponen un conjunto de diez tareas de análisis de bajo nivel que comprenden las actividades de las personas mientras emplean herramientas de visualización de la información para entendimiento de

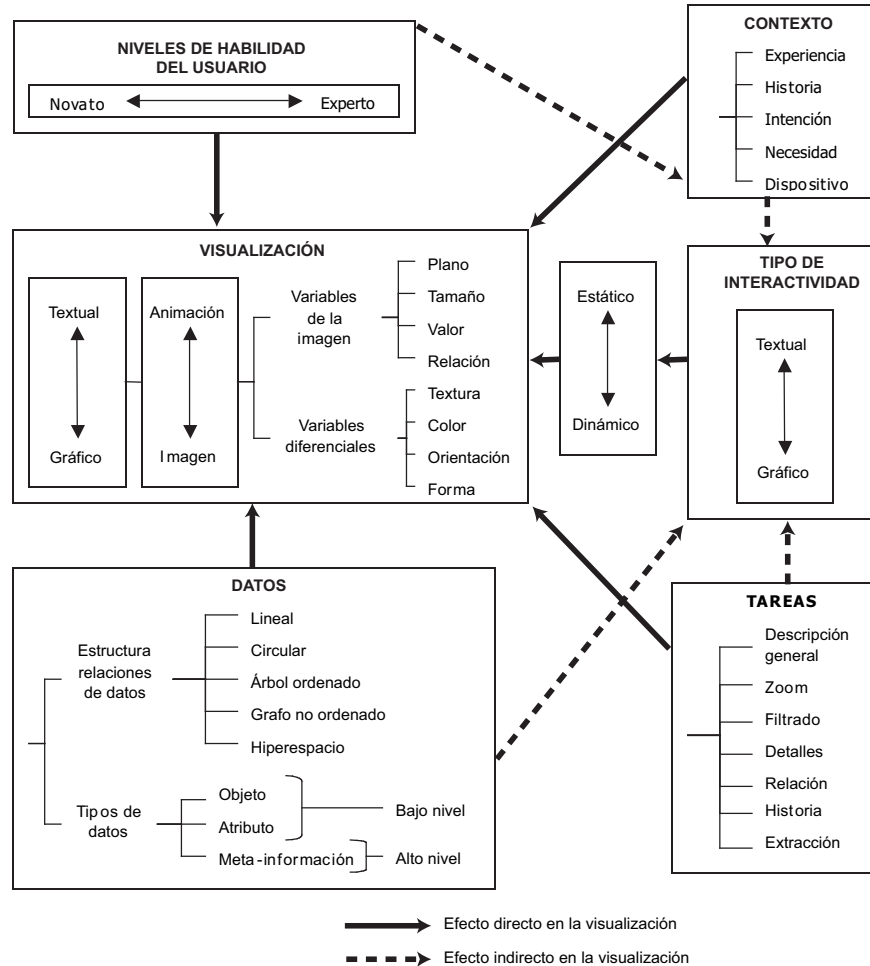


Figura 2. Taxonomía de la visualización de la información.

los datos. Esta taxonomía analítica de tareas se concentra en las metas de los usuarios, independientemente de los sistemas de visualización, y comprende diez tareas: recuperación de valores, filtrado, cómputo de valores derivados, búsqueda de extremos, clasificación, determinación de rangos, caracterización de la distribución, descubrimiento de anomalías, cluster y correlación.

El propósito de la *recuperación de valores* es encontrar los atributos¹⁷ de un conjunto de casos específicos.¹⁸ El filtrado encuentra los casos de datos que satisfacen condiciones concretas sobre los valores de los atributos. *El cómputo de valores derivados* calcula una representación numérica agregada de un conjunto de casos de datos. *La búsqueda de extremos* encuentra los ca-

¹⁷ Un atributo es un valor medido de todos los casos en el conjunto de datos.

¹⁸ Un caso es una entidad en el conjunto de datos.

sos de datos que tienen un valor extremo de un atributo en el rango dentro de su conjunto de datos. *La clasificación* ordena un conjunto de casos de datos de acuerdo con alguna métrica ordinal. *La determinación de rangos* encuentra el rango de valores dentro de un conjunto de casos de datos dado un atributo de interés. La caracterización de la distribución específica la distribución de los valores de los atributos cuantitativos de interés en el conjunto de casos de datos. El *descubrimiento de anomalías* identifica cualquier anomalía dentro de un conjunto de casos de datos con respecto a una relación específica. *El cluster* encuentra los grupos de valores similares de atributos en un conjunto de casos de datos. La *correlación* determina las relaciones útiles entre los valores de dos atributos de un conjunto de casos de datos.

3.1.11. Taxonomía de visualización de eventos

Algunos autores indican que la visualización de eventos promete aliviar la sobrecarga de información en el análisis, pero que el trabajo previo no abarca específicamente la coordinación de las dimensiones de los eventos con los tipos de tareas involucrados o la manera en que las diferentes dimensiones de las visualizaciones de eventos pueden beneficiar los análisis de información. Cheng *et al.*^[26] han desarrollado una taxonomía de visualización de eventos independiente del dominio en la que varias herramientas y técnicas de visualización se pueden clasificar en términos de las *dimensiones de los eventos*, los *dominios de aplicación* y los *símbolos de visualización* (Tabla 11).

3.1.12. Taxonomía para la visualización de grafos grandes

Varios modelos de grafos no clásicos se han introducido para reducir la complejidad de los datos, como el *Clustered Graph Model* de Feng.^[27] Por otro lado, se han dedicado muchos esfuerzos de investigación para la visualización de grandes jerarquías (por ejemplo, Card *et al.*^[28]). Basados en estos y otros trabajos, Li *et al.*^[29] presentan un marco de trabajo para la visualización de grafos grandes cuyo propósito es reducir la complejidad de los datos. Este modelo de referencia para la visualización de grafos está construido sobre el modelo general de visualización de Card (Card *et al.*^[12]) de cuatro componentes. El modelo propuesto está compuesto por tres componentes: grafo, estructura visual y vista (Figura 3). El componente *grafo* se utiliza para modelar los datos relacionales, los cuales están representados por la *tabla de datos* del modelo general de visualización. Los componentes de las *estructuras visuales* y *vistas* tienen el mismo significado que los del modelo general de visualización.

Con la extensión de su modelo de visualización de grafos, los investigadores construyen un modelo de referencia para la visualización de grafos grandes, el cual se concentra en la generación de vistas de grafos desde el enfoque navegacional. Este modelo consta de cuatro componentes: grafo, grafo agrupado,¹⁹ simplificación y vista (Figura 4). La idea básica del modelo es la partición de un grafo grande para crear un grafo agrupado. La actividad principal en

19 Clustered Graph.

Tabla 11. Taxonomía de visualización de eventos.

| Dimensión | Explicación/Métricas |
|-----------|--|
| Tiempo | Día, fecha, minuto, segundo, semana, mes, año, siglo, año luz. |
| Espacio | Localización, lugar, información geográfica. |
| Contenido | Documentos, eventos. |
| Personas | Nombres de personas, fechas de nacimiento, direcciones de residencia, información de contacto. |
| Agregados | Suma de estadísticas de eventos, medias, desviación estándar, estadísticas periódicas. |

| Dominio | Representación de eventos |
|---------------------------------------|--|
| Medicina | Registro de pacientes, historias clínicas. |
| Leyes | Accidentes de tráfico, crímenes, registros judiciales. |
| Negocios/noticias | Oportunidades de negocio, órdenes de compra, noticias. |
| Comunicación a través de computadores | Correos electrónicos, chats, grupos de noticias. |
| Estudio medioambiental | Fenómenos medioambientales complicados. |
| Entretenimiento | Juegos deportivos, videos. |

| Objeto | Significado |
|------------------------|--|
| Línea horizontal/barra | Tiempo, historia. |
| Caja | Evento, incidente. |
| Círculo | Incidente, revisión en el tiempo. |
| Mapa | Región geográfica, localización. |
| Árbol | Organigrama organizacional, jerarquía. |
| Clavos | Agregación de información. |
| Río | Tiempo, historia, fortaleza temática. |
| Espiral | Datos periódicos. |
| Glyph | Persona, lugar, incidente, mensaje. |
| Flor | Persona, mensaje. |

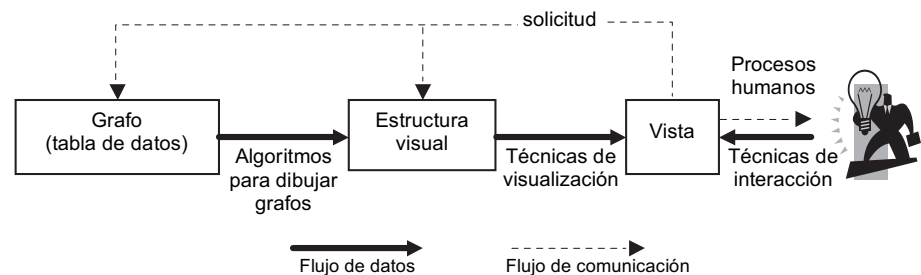


Figura 3. Modelo de visualización de grafos.

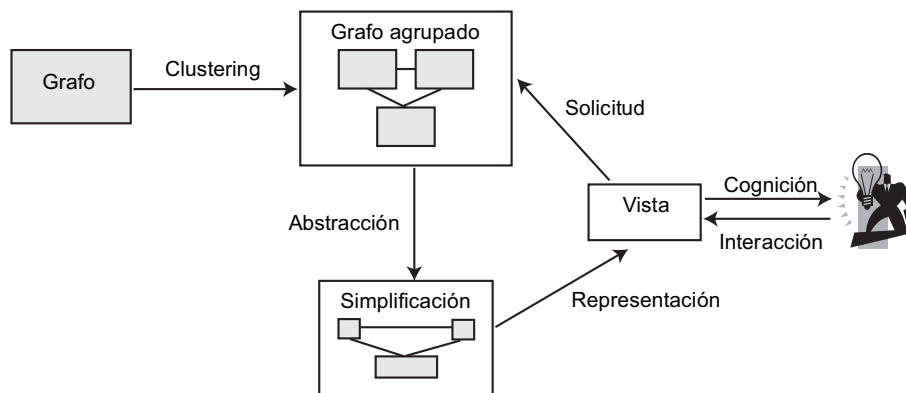


Figura 4. Modelo de visualización de grafos grandes.

el sistema de visualización del modelo es encontrar una estrategia de abstracción que permita generar las simplificaciones adecuadas del grafo agrupado durante la navegación.

3.1.13. Taxonomía de visualización de grafos

A partir de los trabajos de esquemas de clasificación para la visualización de jerarquías (Keim *et al.*^[30]) y de estudios para analizar y comparar diferentes enfoques (Barlow *et al.*^[31] y Stasko *et al.*^[32]), Schulz *et al.*^[33] proponen un marco de trabajo para grafos a través de una vista general sistemática de diferentes métodos de visualización, es decir, presentan una taxonomía de técnicas de visualización de redes. Estas técnicas se pueden categorizar de tres maneras: dirigidas y no dirigidas; explícitas e implícitas; y libres, con estilo o fijas.

En las *redes dirigidas* se les atribuye a sus arcos²⁰ una información direccional²¹ que modela nociones de flujos



Figura 5. Ejemplo de una representación jerárquica de un grafo.

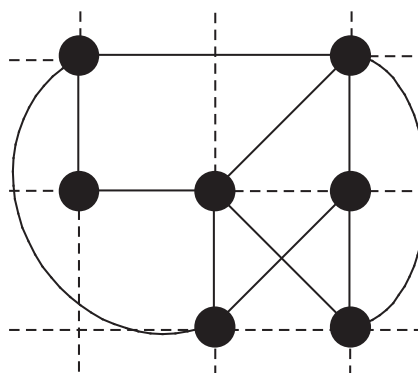


Figura 6. Ejemplo de una representación con estilo de una red.

²⁰ Un arco en una red es la relación que se establece entre dos nodos.

²¹ La información direccional hace referencia a que se deben identificar cuáles son los nodos origen y destino de un arco.

o dependencias; en las *redes no dirigidas* no interesa conocer la dirección de los arcos. Los *métodos explícitos* muestran las relaciones entre los elementos de la jerarquía a través de una representación de nodo-link tradicional; las *técnicas implícitas* son métodos de llenado de espacio (ver ejemplo de la Figura 5) y utilizan una gran variedad de representaciones abstractas de los nodos (por ejemplo, líneas, cajas, círculos, etc.) e indican sus relaciones por medio de ciertas disposiciones entre ellos (por ejemplo, inclusión, intersección, adyacencia, etc.). Las técnicas de visualización *libres* no tienen restricciones para la representación de las estructuras y se pueden generar a través de una

gran variedad de métodos; en las técnicas *fijas* solamente los arcos se pueden determinar libremente (por ejemplo, técnicas de visualización geoespacial); y las técnicas con estilo muestran una representación ajustada a cierto esquema predefinido (ver ejemplo de la Figura 6).

3.1.14. Taxonomía de tareas de visualización

Valiati *et al.*^[34] proponen una taxonomía de tareas de visualización basada en otras taxonomías existentes y en la observación de usuarios en la realización de tareas exploratorias con un conjunto de datos multidimensionales (Tabla 12). Esta taxonomía integra tareas analíticas, cognitivas

Tabla 12. Taxonomía de tareas de visualización de usuarios.

| Identificar | Determinar | Comparar |
|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Clusters | Media | Dimensiones |
| Correlaciones | Mediana | Ítemes |
| Categorías | Varianza | Fechas |
| Propiedades | Desviación estándar | Valores |
| Patrones | Amplitud | Clusters |
| Características | Percentil | Propiedades |
| Thresholds | Suma | Proporciones |
| Similitudes / diferencias | Proporción | Posiciones / localizaciones |
| Dependencias / independencias | Diferencias | Distancias |
| Incertidumbres / variaciones | Coeficiente de correlación | Primitivas gráficas |
| | Probabilidad | |
| | Otras estadísticas | |
| Inferir | Configurar | Localizar |
| Hipótesis | Normalizaciones | Ítemes |
| Reglas | Clasificación | Datos |
| Tendencias | Filtrado | Fechas |
| Probabilidades | Zoom | Clusters |
| Causa / efecto | Dimensiones | Propiedades |
| | Atributos derivados | Posiciones / localizaciones |
| | Primitivas gráficas | Distancias |
| | | Primitivas gráficas |
| Visualizar | | |
| n dimensiones | | |
| n ítemes | | |
| Datos | | |
| Parámetros de dominio/ | | |
| Inf. de atributos/ metadatos | | |

y operacionales que un usuario podría necesitar cuando utiliza una técnica de visualización: *identificar* (encontrar, descubrir o estimar), *determinar* (calcular, definir o indicar), *visualizar* (representación gráfica), *comparar* (análisis de dimensiones, datos, valores, clusters, propiedades, proporciones, localizaciones, distancias y características visuales), *inferir* (definición de hipótesis, reglas, probabilidades o tendencias, y características de causa y efecto), *configurar* (normalización de datos, filtrado, clasificación, derivación de atributos, reordenamiento de dimensiones y cambio de características visuales), y *localizar* (buscar y encontrar información). Cinco de estas tareas (*identificar*, *determinar*, *comparar*, *inferir* y *localizar*) se pueden considerar como metas que un usuario define cuando utiliza una técnica de visualización para explorar visualmente datos a través de estadísticas. Las tareas de *visualizar* y *configurar* son típicas de nivel intermedio que soportan a las analíticas. Las tareas analíticas son de alto nivel que pueden involucrar la ejecución de otras.

3.1.15. Taxonomía de tareas de grafos

Basados en los trabajos de Plaisant^[35] para mejorar la evaluación de sistemas de visualización de información, la taxonomía TTT (Shneiderman^[10]), la taxonomía de tareas para visualización de árboles (InfoVis^[36]), y la taxonomía analítica de tareas de Amar *et al.*^[25]. Lee *et al.*^[37] proponen una taxonomía de tareas de grafos divididas en cuatro grupos: topología, atributos, búsqueda²² e información

general. Las *tareas basadas en la topología* se definen a partir de los conceptos de adyacencia, accesibilidad, conexión común y conectividad. Las *tareas basadas en los atributos* incluyen las basadas en la topología que se pueden repetir a través de tareas de filtro, cómputo, rango o distribución. Las *tareas de búsqueda* comprenden los conceptos de camino y visitas a nodos ya visitados. Las *tareas de información general* son una combinación de tareas exploratorias que pretenden conseguir rápidamente valores estimados.

3.2. Taxonomías basadas en las técnicas de visualización de la información

3.2.1. Taxonomía de Wehrend & Lewis

Se ha señalado que uno de los problemas que tienen los usuarios de la visualización, en diferentes disciplinas de aplicación, es la falta de un marco conceptual común en el que se describieran y compartieran las técnicas utilizadas (Wehrend *et al.*^[38]). Para arreglar dicho inconveniente se propuso un esquema de clasificación de problemas de visualización y sus soluciones, independiente del dominio de aplicación. El propósito de este esquema es proveer un marco de trabajo común en el que las personas puedan clasificar sus técnicas, identificar las similitudes existentes entre los problemas de diferentes áreas de aplicación y utilizar nuevas técnicas en otras líneas de aplicación.

Las técnicas de visualización, según la taxonomía de Wehrend & Lewis

²² Browsing task.

(Wehrend *et al.*^[19]), se pueden ubicar en una matriz formada por dos clasificaciones: *objetos* y *operaciones*. Un tópico particular se puede dividir en *objetos* que se agrupan de acuerdo con la naturaleza de los elementos del dominio que se debe representar. Las *operaciones* distinguen los problemas en que difieren los objetivos del usuario en cuanto a la representación visual de la información. Por lo tanto, cuando se aplican las clasificaciones de objetos y operaciones a un problema, se genera una matriz para después ubicar las técnicas de visualización apropiadas en cada celda. La Tabla 13 muestra la matriz de clasificación de las técnicas de visualización.

3.2.2. Taxonomía de técnicas de presentación orientadas a la distorsión

Las técnicas orientadas a la no distorsión se han usado para la representación de datos textuales (Monk *et al.*^[39], y Beard *et al.*^[40]) y en aplicaciones gráficas (Donelson^[41], Herot *et al.*^[42], y Leung^[43]). El desarrollo de las técnicas de presentación orientadas a la distorsión se enfoca en el problema asociado con los grandes sistemas de información y sus pequeñas ventanas en donde la información se despliega. Leung *et al.*^[44] presentan una taxonomía de técnicas de presentación orientadas a la distorsión. Según esta taxonomía, las técnicas se pueden

Tabla 13. Matriz de clasificación de técnicas de visualización.

| | | OBJETOS | | | | | | | | |
|---|---|---------|---------------|---------|-----------|--------------------|-------|----------|------------------------------------|------------|
| | | Escalar | Campo Escalar | Nominal | Dirección | Campo de dirección | Forma | Posición | Objeto o región espacial extendida | Estructura |
| O P E R A C I O N E S | Identificar | | | | | | | | | |
| | Localizar | | | | | | | | | |
| | Distinguir | | | | | | | | | |
| | Categorizar | | | | | | | | | |
| | Distribuir | | | | | | | | | |
| | Agrupar | | | | | | | | | |
| | Clasificar | | | | | | | | | |
| | Comparar dentro de y entre las relaciones | | | | | | | | | |
| | Asociar | | | | | | | | | |
| | Correlacionar | | | | | | | | | |
| ... | | | | | | | | | | |

clasificar en dos clases (Figura 7): las de funciones de ampliación continuas y las de funciones de ampliación no continuas (constantes o variables). A la primera clase pertenecen las técnicas de vista de ojo de pescado²³ y proyección polifocal,²⁴ mientras que a la segunda el despliegue bifocal²⁵ (constante) y la pared en perspectiva²⁶ (variable).

Con las funciones de ampliación no continuas se pueden generar despliegues que contengan múltiples niveles discretos de ampliación; los factores de ampliación usados se pueden escoger de manera que la función se aproxime a una continua. Por otro lado, las técnicas con funciones de ampliación continuas tienen un atributo no deseable: tienden a distorsionar los límites de la imagen

transformada; cuanto mayor sea el factor de ampliación, mayor es la distorsión. Esto se presenta porque dichas técnicas se aplican generalmente de manera radial en vez de independientemente en las direcciones x y y .

3.2.3. Taxonomía de los sistemas de visualización de información

Kennedy *et al.*^[45] presentan un marco de trabajo para la construcción de sistemas de visualización de información que define los componentes que se deben considerar para una visualización efectiva: el *usuario*, la *base de datos*, la *visualización* y la *interacción* (Figura 8). La *visualización* e *interacción* constituyen la interfase entre el *usuario* y la *base de datos*. El componente *usuario* describe al

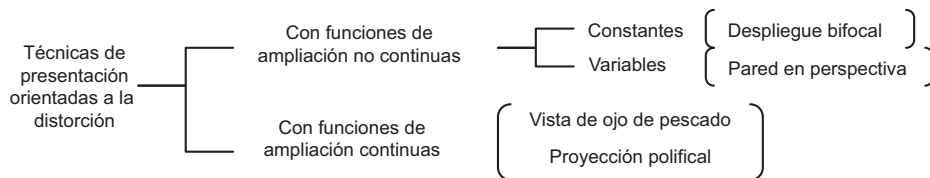


Figura 7. Taxonomía de técnicas de presentación para grandes espacios de datos gráficos.

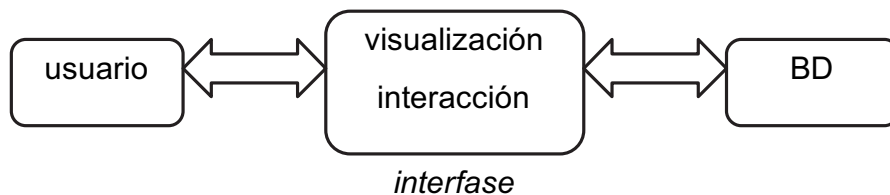


Figura 8. Componentes del marco de trabajo de los sistemas de visualización de información.

²³ La vista de ojo de pescado se basa en árboles de texto.

²⁴ La proyección polifocal se basa en funciones de transformación y ampliación.

²⁵ El despliegue bifocal es un técnica que originalmente se basó en una representación unidimensional del espacio de los datos cuya área excede al de la pantalla. Posteriormente, esta técnica se ha utilizado de manera bidimensional para la representación de redes topológicas.

²⁶ Esta es una variante del despliegue bifocal unidimensional.

usuario humano del sistema y describe su grado de experticia, las tareas que desea realizar y su capacidad de ver o modificar datos. El componente *base de datos* representa la BD actual incluyendo el modelo de datos utilizado, el esquema de almacenamiento de datos y las instancias que la llenan. El componente *visualización* considera la representación de los datos: los símbolos usados para representar los datos, y el diseño de la pantalla. El componente de *interacción* indica cómo puede alterar el usuario la representación de los datos, o los datos en sí mismos.

3.2.4. Clasificación de técnicas de visualización multidimensionales

Keim^[46] propone una clasificación de las diferentes técnicas de visualización de información multidimensional a través de tres criterios ortogonales²⁷: la técnica de *visualización*, la técnica de *distorsión* y la técnica de *interacción* (Figura 9). Las técnicas de visualización se pueden dividir en: proyección geométrica, basada en iconos, basada en píxeles, jerárquica, basada en grafos

y basadas en grafos. Ejemplos de técnicas de interacción incluyen al mapeo interactivo, proyección, filtrado, zoom y link. Las técnicas de distorsión pueden ser simples o complejas, dependiendo del nivel de detalle con que se quieren mostrar los datos. El autor de esta clasificación basa la comparación de las técnicas de visualización de acuerdo con sus características de datos, tareas y visualización.

3.2.5. Taxonomía de visualización de información escalable

La exploración de espacios de información heterogéneos a niveles arbitrarios de detalles requiere un pre-procesamiento apropiado de información, la combinación de diferentes interfaces gráficas y la ilustración de marcos de referencia de los conjuntos de información dados. Esta idea es la que se presenta en un trabajo de investigación que describe los principales conceptos de un marco de trabajo de visualización de información escalable (Kreuseler *et al.*^[47]). El sistema que se propone incluye computación dinámica de

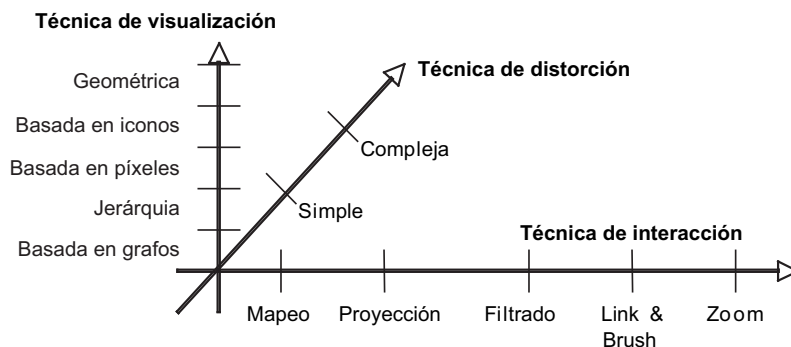


Figura 9. Clasificación de las técnicas de visualización multimediales.

²⁷ Ortogonal indica que cualquier técnica de visualización puede ser utilizada con cualquier técnica de distorsión, así como con cualquier técnica de interacción.

jerarquías y refinamiento controlado por el usuario de tales jerarquías para pre-procesar espacios de información no estructurada, una técnica de visualización de gráficos jerárquicos complejos y un paradigma de estructuras de visualización de información dentro de su marco de referencia y una interfase gráfica que utiliza analogías textuales para organizar objetos de espacios de información de muchas dimensiones en un espacio de visualización tridimensional.

Los autores de esta taxonomía indican que se requiere un modelo de información formal y adaptable para describir las unidades de información y las características generales del espacio de información. El marco de trabajo propuesto integra un pre-procesamiento escalable y diferentes módulos de visualización. El pre-procesamiento escalable implementa varios algoritmos²⁸ para analizar los espacios de información no estructurada, y combina diferentes técnicas para ajustarse con respecto a las características del espacio de infor-

mación y las tareas de exploración de los usuarios; por lo que tiene que proporcionar medidas adecuadas para calcular las similitudes entre los objetos de información.²⁹ La visualización escalable del marco de trabajo propuesto provee varias técnicas de visualización que se pueden adoptar de acuerdo con las metas específicas de exploración, lo que permite presentar efectivamente diferentes aspectos de la información dada. En la Tabla 14 se puede apreciar la estructura del marco de trabajo escalable de visualización de la información.

3.2.6. Taxonomía de técnicas de visualización basada en el modelo de estado de datos

Chi^[48] propone una taxonomía de técnicas de visualización (elaborada en Chi^[49]) que usa el *modelo de estados de datos* (Chi *et al.*^[17]) para ayudar a entender cómo se pueden aplicar de manera más general las técnicas de visualización de información. La taxonomía propuesta se presenta en una matriz en donde las filas repre-

Tabla 14. Marco de trabajo escalable de visualización de información.

| ESTRUCTURA | ELEMENTOS | |
|--------------------------------------|--|--|
| Pre-procesamiento escalable | Métricas y medidas de similitudes entre objetos de información | |
| | Algoritmos de pre-procesamiento de información | |
| | Técnicas de exploración | Mapas de auto-organización ³⁰ |
| | | Computación dinámica de jerarquías |
| Técnicas escalables de visualización | Métodos y técnicas de visualización | |

28 Algoritmos de clustering, computación dinámica de jerarquías, redes neuronales.

29 El término objeto de información denota una abstracción necesaria de los datos para especificar unidades de información. Se define como elementos básicos del modelo de información, en donde cada uno de ellos se caracteriza por un conjunto de atributos que pueden tener rangos continuos arbitrarios de valores para describir las propiedades de los objetos.

30 Los mapas de auto-organización se pueden describir como proyecciones no lineales de un espacio de entrada n-dimensional transformado en un espacio de visualización bidimensional.

sentan cada uno de los sistemas o las técnicas de visualización considerados, las celdas de cada fila describen los operadores comprendidos en la técnica, y las columnas son los siete tipos de operadores del modelo de estado de datos.

El estudio realizado por el autor de la taxonomía prevé el análisis de 36 técnicas de visualización agrupadas en 10 tipos (visualización científica, visualización de información geográfica, 2D, plots multidimensionales, información de espacios y paisajes, árboles, redes, texto, visualización web y tablas de visualización). Para cada una de las técnicas de visualización el resultado del análisis ayudó a clasificar y escoger cómo implementar los diferentes operadores en grandes sistemas de visualización.

El autor de la taxonomía indica que, dada la naturaleza de las tareas de solución de problemas, el *modelo de estado de datos* debería ser un herramienta valiosa en el análisis del espacio de diseño de visualización debido a que ayuda a categorizar y a definir una taxonomía que expone las dependencias entre los módulos de visualización y las similitudes y diferencias entre las técnicas de visualización. Como ejemplo, en la Tabla 15 se muestra el análisis para una técnica de visualización de árboles.

3.2.7. Clasificación de las técnicas de visualización

Keim^[50] indica que las técnicas de visualización se pueden clasificar basándose en tres criterios (Figura 10): los datos a visualizar, la técnica

Tabla 15. Ejemplo de la aplicación del modelo de estado de datos

| TÉCNICA DE VISUALIZACIÓN | OPERADORES | | | | | | |
|--------------------------|---|----------------------------|--|---------------------------------------|---|---|---|
| ÁRBOLES | DE LA ETAPA DE VALOR | DE TRANSFORMACIÓN DE DATOS | DE LA ETAPA DE ABSTRACCIÓN ANALÍTICA | DE TRANSFORMACIÓN DE LA VISUALIZACIÓN | DE LA ETAPA DE TRANSFORMACIÓN DE LA VISUALIZACIÓN | DE TRANSFORMACIÓN DE MAPEO VISUAL | DE LA ETAPA DE VISTA |
| | Ejemplo: sistema de archivos; tablas de organización; estructura de links web o hipertexto. | Extracción en gráficos. | Ejemplo: grafos. Aplicación dinámica de filtro de valores de los nodos o límites. | Realizar un recorrido en anchura. | Ejemplo: jerarquía del árbol. | Diseño usando conos 3D; árboles hiperbólicos; expansión de árboles. | Centrar el nodo; esconder el subárbol; cambiar la posición del árbol; aplicar filtro dinámico de niveles. |

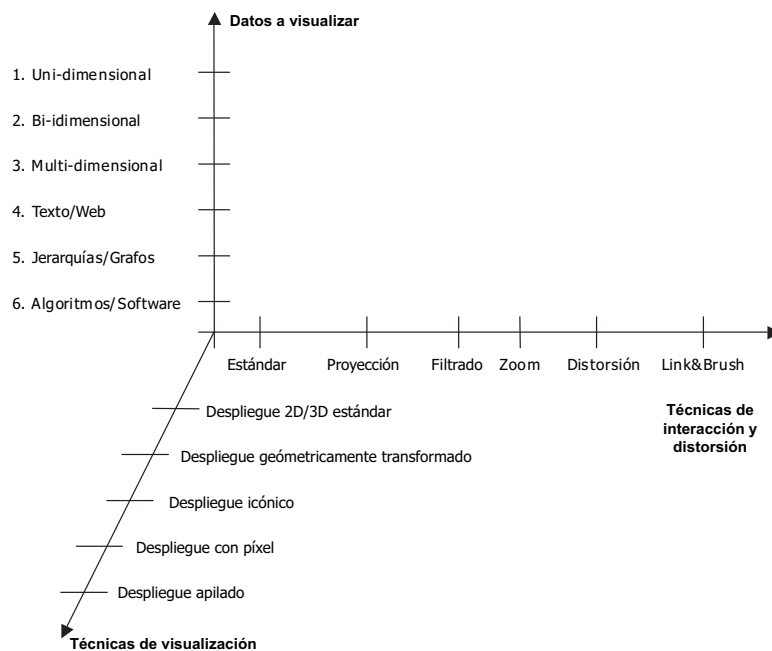


Figura 10. Clasificación de las técnicas de visualización de información.

de visualización y la técnica de interacción y distorsión utilizada.

Los *datos* consisten de una gran cantidad de registros³¹ con una variedad de variables o dimensiones (el número de variables determina la dimensionalidad del conjunto de datos). Los *datos a visualizar* pueden ser unidimensionales, bi-dimensionales, multi-dimensionales, texto e hipertexto, jerarquías y grafos, y algoritmos y software.

Las *técnicas de visualización* se pueden clasificar en despliegues 2D/3D estándar, geoméricamente transformadas, icónico, con píxel y apilado.

Las *técnicas de interacción* les permiten a los usuarios interactuar directamente con las visualizaciones y cambiarlas dinámicamente de acuerdo con los objetivos de exploración, lo cual hace posible relacionar y combinar múltiples visualizaciones independientes. Las *técnicas de distorsión* ayudan en el proceso de exploración de datos y dan significado a los detalles mientras se mantiene su perspectiva general; la idea básica es mostrar porciones de los datos a un alto nivel de detalle mientras que otros se muestran a un nivel menor. Las *técnicas de interacción y dispersión* se pueden clasificar en proyecciones, filtrado, zoom, distorsión, y link&brush

³¹ Los registros corresponden a observaciones, medidas, transacciones, etc.

3.2.8. Taxonomía de técnicas de visualización para simulación

Diferentes tipos de técnicas de visualización se utilizan para presentar datos de simulaciones, desde técnicas estáticas como gráficos de barras hasta técnicas dinámicas como animaciones 2D o 3D, así como realidad aumentada y realidad virtual. Wenzel^[51] indica que la animación como técnica de visualización demuestra fácilmente la pluralidad de la visualización. Wenzel *et al.*^[52] presentan una taxonomía de técnicas de visualización para simulación en las áreas de producción y logística que aporta una base para seleccionar la técnica de visualización correcta para un determinado grupo objetivo.

Esta taxonomía muestra cómo las metas de la visualización difieren de acuerdo con la fase del estudio de simulación y se basan en el mejoramiento de la cognición y en la mediación de conocimiento. En función de las diferentes fases del estudio de simulación y los respectivos grupos objetivo, la visualización se puede utilizar como herramienta de adquisición, utilidad de verificación durante el proceso de modelamiento, utilidad de validación, herramienta de análisis, herramienta de comunicación para simulación, herramienta de presentación y herramienta de entrenamiento para transferencia de conocimiento.

La taxonomía propuesta se presenta como una caja morfológica que ofrece la posibilidad de caracterizar cada técnica de visualización por el significado de sus valores específicos de los parámetros. La Tabla 16 presenta la clasificación por criterios desde el punto de vista gráfico, y la Tabla 17 presenta el esquema de clasificación desde el punto de vista de la relación de la información (Wenzel *et al.*^[52]).

3.2.9. Taxonomía para visualización de volúmenes

Cohen *et al.*^[53] proponen una taxonomía para *visualización de volúmenes*³² que tenga en cuenta los campos de la *visualización científica*³³ y la *visualización de información*.³⁴ La taxonomía se concentra en la representación directa de volúmenes y genera una clasificación en términos de tres atributos: enfoque, efecto y espacio de visualización (Tabla 18).

Tabla 18. Atributos de la taxonomía de visualización de volúmenes.

| ATRIBUTO | VALORES |
|--------------------------|---------------------------------|
| Enfoque | Punto |
| | Región (circular o rectangular) |
| Efecto | Refinamiento |
| | Distorsión |
| | Refinamiento y distorsión |
| Espacio de visualización | Imagen |
| | Espacio |
| | Imagen y espacio |

32 La *visualización de volúmenes* trabaja con conjuntos de datos tridimensionales.

33 La *visualización científica* trabaja con conjuntos de datos científicos de gran tamaño y complejidad que se generan, por ejemplo, a través de la simulación o la observación directa.

34 El campo de la *visualización de la información* trabaja con datos no científicos a gran escala utilizando diferentes enfoques para alcanzar un entendimiento efectivo.

Tabla 16. Taxonomía de las técnicas de visualización desde el punto de vista gráfico.

| CRITERIO | ESPECIFICACIONES | | | | | |
|--|----------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---|----------------------------------|--------------------|
| | 1-D | 2-D | 2½-D | 3-D | | |
| Dimensión | | | | | | |
| Representación | Simbólica / carácter | Simbólica / abstracta | Iconica / estilizada | Iconica / cerca de la realidad | Foto realista | |
| Formato de despliegue | fuente | Tabla/hoja de datos | Chart | Dibujo / diagrama | imagen | Mundo virtual |
| Escala | ninguna | lineal | logarítmica | Exponencial | categoria | Realidad aumentada |
| Proyección geométrica planar | ninguna | ortogonal | Oblicua | Perspectiva | | |
| Dimensión temporal del modelo gráfico | ninguna | discreta | Continua | | | |
| Modo de tiempo dentro de la presentación | Imagen fija | Video no proporcional | Video proporcional – show motion | Video proporcional – tiempo real | Video proporcional – fast motion | |
| Interacción | ninguna | Navegación dentro de la presentación | Interacción con el modelo gráfico | Interacción con el modelo de simulación | inmersión | |

Tabla 17. Taxonomía de las técnicas de visualización desde el punto de vista de la relación de la información.

| CRITERIO | | ESPECIFICACIONES | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---|------------------|------------------|----------------------------|------------------|--------------------|-------------|------------------------|----------------|----------------|
| Función primaria: intención | | Identificación | localización | correlación | asociación | | comparación | estructuras y patrones | agrupamiento | clasificación |
| Tipo de información a representar | | Cualitativa | cuantitativa | Cualitativa y cuantitativa | | | | | | |
| Relaciones de la información | | Independiente | relacional | circular | jerárquica | red | | | | |
| Codificación de información | Nivel de medida | Ninguna | Nominal discreta | Ordinal discreta | Ordinal continua | Intervalo discreto | | Intervalo continuo | Radio discreto | Radio continuo |
| | Dimensión de las variables dependientes | Ninguna | 1-D | 2-D | 3-D | n-D | | | | |

El *enfoque* define la naturaleza de la región a enfocar; y puede tratarse de un punto, o una región circular o rectangular. El *efecto* define la manera en que se alcanza el detalle del enfoque; y se puede lograr por refinamiento³⁵ o distorsión,³⁶ o por una combinación de ambos. El *espacio de visualización* define en dónde se aplica la función de F+C³⁷, y puede ser una imagen o un espacio, o ambos. Por lo tanto, la taxonomía produce 27 (3 x 3 x 3) combinaciones diferentes basadas en los valores de los atributos. Así, por ejemplo, se pueden tener ternas del tipo {*enfoque, efecto, espacio de visualización*} como las siguientes: {punto, distorsión, imagen}, {región, refinamiento, imagen}, {punto, refinamiento, objeto}, {región, ambos, ambos}.

3.2.10. Taxonomía de algoritmos de visualización

Existe una taxonomía de visualización de alto nivel que clasifica los algoritmos de visualización en vez de los datos, en donde la categorización de tales algoritmos se basa en el modelo de diseño, que se refiere a la idea de que los algoritmos hacen alguna operación sobre los datos que se visualizan (Tory *et al.*^[54]). Los autores de esta taxonomía indican que es más flexible que otras taxonomías existentes, debido precisamente a que se basa en modelos de diseño, y considera el modelo conceptual del usuario enfatizando en el aspecto humano

de la visualización. Esta taxonomía está basada en las características de los modelos de datos en vez de las características de los datos en sí mismos, por lo que se dice que es una taxonomía basada en modelos.

Esta taxonomía tiene una estructura de alto nivel y clasifica los modelos de diseño de acuerdo con dos criterios: determinación de si el *objeto de estudio*³⁸ es discreto o continuo, y en cómo el diseñador de la visualización escoge los atributos de despliegue tales como el espacio, tiempo, color, transparencia, etc. En la conversión de un modelo continuo en uno discreto se tratan los puntos de datos como entidades discretas, y son ejemplos de una función continua, o agregaciones de puntos de datos en categorías. La conversión de un modelo discreto en uno continuo requiere definir los parámetros del modelo o su inserción en un espacio continuo.

La categorización de la visualización se hace si el espacio es dado, escogido o restringido. La Tabla 19 muestra la estructura de la taxonomía (ilustrada con ejemplos), según la presentan los autores en su investigación (Tory *et al.*^[54]). Por otro lado, la taxonomía ilustra las relaciones entre los diferentes tipos de tareas y examina los tipos de tareas que se pueden realizar con cada modelo de diseño. La Figura 11 muestra cómo los modelos de diseño permiten a los usuarios realizar las

35 El refinamiento es un atributo de exactitud.

36 La distorsión logra el efecto de enfoque por deformación espacial del espacio de visualización.

37 “Focus + Context”. Se refiere a la aplicación de un factor de aumento para lograr un mayor acercamiento a una región específica, con lo cual se puede conseguir una pérdida en el conjunto de datos (pérdida de contexto).

38 Un objeto de estudio se define como algo físico o mental sobre lo que se piensa, siente o actúa.

Tabla 19. Taxonomía de visualización de alto nivel con ejemplos.

| OBJETO DE ESTUDIO | ATRIBUTOS DE DESPLIEGUE | | |
|-------------------|--|--|---|
| | DADOS | CON RESTRICCIONES | ESCOGIDOS |
| CONTINUO | Imágenes; flujos de gas o fluidos, distribuciones de presión; estructuras moleculares; datos de distribución. | Distorsión de ideas dadas/continuas (mapas geográficos 2D, estructuras médicas, etc.); arreglos de valores de variables numéricas. | Funciones matemáticas continuas; datos continuos que varían con el tiempo; análisis de regresión. |
| DISCRETO | Imágenes/datos clasificados; posiciones de tráfico aéreo; estructuras moleculares; datos de entidades discretas. | Distorsión de ideas dadas/discretas; arreglos de valores de variables ordinales o numéricas. | Datos discretos que varían con el tiempo; datos arbitrarios de relaciones de entidades; datos multidimensionales arbitrarios. |

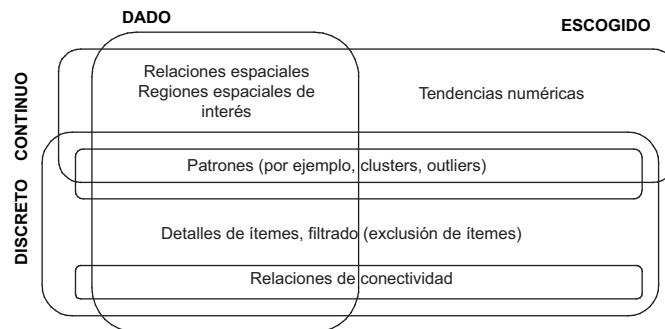


Figura 11. Clasificación de las tareas de visualización.

diferentes tareas con una representación visual.

3.2.11. Taxonomía de la visualización del conocimiento

Burkhard^[55] presenta un marco de referencia para la visualización del conocimiento que integra resultados de las áreas de investigación de la visualización de la información (Card et al.^[28], Ware^[56], Chen^[57], Bertin^[58], y Spence^[59]), cognición (Horn^[60]), ciencias de la comunica-

ción (Fiske^[61]), arquitectura de la información (Wurman^[62]), y administración del conocimiento (Alavi *et al.*^[63]). Este investigador indica que la diferencia entre la visualización de la información y la visualización del conocimiento radica en que la primera tiene como objetivo la exploración de datos abstractos y la creación de nuevas representaciones, y la segunda pretende mejorar la transferencia de conocimiento entre personas o grupos de personas.

La taxonomía propuesta define tres perspectivas para una transferencia efectiva (Burkhard^[55]): tipo de conocimiento, tipo de destinatario y tipo de visualización (Tabla 20). La *perspectiva del tipo de conocimiento* busca identificar el tipo de conocimiento que se necesita transmitir, y distingue cinco tipos: conocimiento declarativo (el qué), conocimiento procedimental (el cómo), conocimiento experimental (el por qué), conocimiento de orientación (el dónde) y conocimiento individual (el quién). La *perspectiva del tipo de receptor* tiene como obje-

tivo identificar el grupo objetivo y el contexto del receptor. El propósito de la *perspectiva del tipo de visualización* es establecer una taxonomía sencilla que permita estructurar los métodos de visualización existentes, y está compuesta por cinco tipos de visualización: sketch, diagrama, imagen, objeto, y visualización interactiva. Por lo tanto, se combinan las tres perspectivas en una matriz tridimensional, en donde cada método de visualización se puede ubicar en una o más coordenadas del cubo resultante (Figura 12).

Tabla 20. Perspectivas del marco de trabajo de la visualización de conocimiento.

| TIPO DE CONOCIMIENTO (¿qué?) | TIPO DE RECEPTOR (¿quién?) | TIPO DE VISUALIZACIÓN (¿cómo?) |
|--|-------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Declarativo</i> - Saber el qué | Individuo | Sketch |
| <i>Procedimental</i> - Saber el cómo | Grupo | Diagrama |
| <i>Experimental</i> - Saber el por qué | Organización | Imagen |
| <i>De orientación</i> - Saber el dónde | Red | Objeto |
| <i>Individual</i> - Saber el quién | | Visualización interactiva |

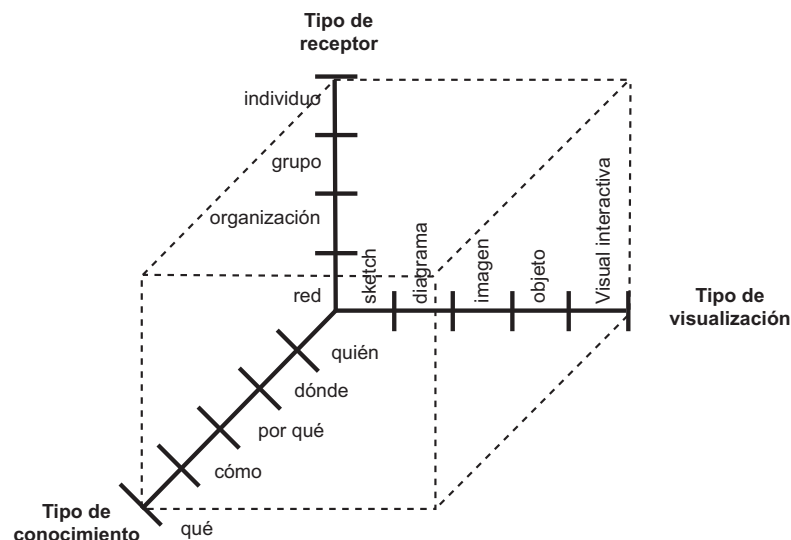


Figura 12. Matriz tridimensional del marco de trabajo de la visualización del conocimiento.

3.2.12. Taxonomía analítica de técnicas de visualización de datos

Rodrigues *et al.*^[64] presentan una taxonomía analítica que describe las técnicas de visualización de datos, que no considera los aspectos particulares de las técnicas de visualización sino sus mecanismos y fundamentos de la percepción de la visión. Estos investigadores proponen un modelo discreto que explica cómo se componen y forman las escenas de visualización, y cómo sus partes constituyentes contribuyen a la comprensión visual. Este modelo se basa en la característica *espacial* de la representación de los datos que permite que sean percibidos visualmente, y que depende del estímulo visual para representarlos junto con sus atributos y características (Figura 13).

Los procedimientos utilizados en el dominio espacial de los datos son: exposición de estructura, proyección, patrón de posicionamiento y reproducción. En la *exposición de estructu-*

ra los datos pueden incluir estructuras intrínsecas, tales como jerarquías o redes de relaciones, que abarcan una parte considerable de su significado. El *patrón de posicionamiento* es el procedimiento más simple en el que un conjunto de datos se ubica secuencialmente (ordenados o no) de acuerdo con uno o más patrones específicos. La *proyección* representa un despliegue de datos modelados por la representación de variables funcionales (la posición de un dato se define por una función matemática conocida o implícita). El posicionamiento de los datos es conocido de antemano en la *reproducción* y se determina por el espacio en el sistema de donde se recolectan los datos.

En el estímulo de pre-atención se identifican empíricamente cómo los atributos de *posición*, *forma* y *color* se utilizan para expresar la información. El atributo de la *posición* es el componente primario de la percepción de la pre-atención en las escenas de visualización y se relacio-

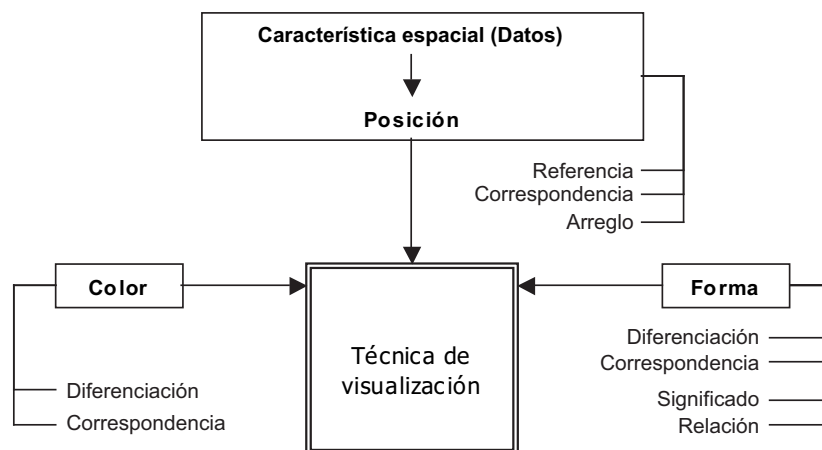


Figura 13. Modelo de la taxonomía analítica de las técnicas de visualización.

na estrictamente con el proceso de ubicación espacial; la pre-atención posicional se presenta en la forma de arreglo, correspondencia y referencia, los cuales se derivan de la exposición de la estructura, patrón y proyección/reproducción, respectivamente. El atributo de la *forma* abarca la mayor cantidad de posibilidades de expresar información: diferenciación, correspondencia, significado, y relación. En la *diferenciación*, la forma desplegada discrimina los datos para próximas interpretaciones. En la *correspondencia*, discreta o continua, cada forma corresponde a una característica informativa; la proporción (tamaño variable) es la variación más usada. En el *significado*, la forma desplegada transmite un significado que depende del conocimiento y la experiencia previa del usuario. En la *relación*, las formas denotan la relación entre un conjunto de datos. Por último, el atributo del *color* comunica la información por diferenciación y correspondencia. En la *diferenciación* los colores no tienen una correspondencia de datos específica, tan solo representan algún grado de igualdad de algunas características de los datos. En la *correspondencia*, discreta o continua, los colores indican una característica informativa (tal como una clase, nivel o estrato) y valores continuos de datos (por ejemplo, la variación de tonos).

4. CONCLUSIONES

La cantidad de información que las personas pueden comprender está limitada por su densidad. Beaudoin *et al*^[65] indican que, a pesar de las limitaciones que tienen las personas en cuanto a sus capacidades cognitivas y de percepción, los usuarios deberían

ser capaces de ver y entender simultáneamente la información detallada en un contexto global todas las veces para cualquier tamaño de la estructura de información. Card *et al*^[66] también indican que el volumen de información a procesar está altamente relacionado con las capacidades de los usuarios, y que los sistemas de procesamiento de información, ya sean artificiales o biológicos, tienden a estar organizados para minimizar la estructura del costo del procesamiento de la información.

Algunos investigadores tratan el tema de la visualización de manera general, mientras que otros lo hacen de manera más específica. Por lo general, la mayoría de las taxonomías de visualización de información se basan en los *tipos de datos involucrados*, en las *características de la información* y en las *tareas de visualización para búsqueda de información*. Uno de los puntos en los que se fundamentan varias de las taxonomías basadas en las tareas de visualización es que la representación gráfica de los datos influye en el rendimiento del procesamiento de la información por parte de las personas de acuerdo con los tipos de tareas involucrados; una adecuada representación gráfica de la información facilita su procesamiento a través de tareas específicas, lo que conlleva a mejorar el rendimiento de las personas. El propósito de las clasificaciones o taxonomías relacionadas con la visualización de la información deben servir como herramienta útil para la implementación de los diferentes tipos de visualización requeridos en cada campo de acción particular. Además, uno de los principales objetivos de este propósito de implementación de un esquema

eficiente de visualización de información es el de apoyar los procesos de administración de información y de toma de decisiones.

Por otro lado, lo que se puede observar a través de las diferentes taxonomías propuestas es que cada vez se pretenden extender la aplicación de modelos anteriores de clasificación de la visualización de la información en otros dominios que requieren un análisis de información diferente. Las técnicas de visualización de la información son importantes en la medida en que sirven de soporte para el análisis de datos de diversa índole. Al clasificarlas a través de una taxonomía, lo que se pretende es tener una herramienta objetiva que tenga en cuenta sus objetivos para poder evaluarlas de una manera más formal de acuerdo con el problema de visualización al que se quiere dar solución. En este sentido, Keim^[46] indica que la mayor ventaja de las técnicas de visualización sobre otras técnicas (semi)automáticas de análisis y exploración de datos (estadística, inteligencia artificial, etc.) es que la visualización permite una interacción directa con el usuario y provee una retroalimentación inmediata que no alcanzan otros enfoques no visuales.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Resnikoff, H.L. *The Illusion of Reality*. Springer-Verlag, New York, 1989.
- [2] Fenton, N.E. & Pfleeger, S.L. *Software metrics. A rigorous and practical approach*. PWS Pub. 1997.
- [3] Krantz, D.H., Luce, R.D., Suppes, P. & Tversky, A. *Foundations of Measurement*. Vol. 1, New York: Academic Press. 1971.
- [4] Mackinlay, J. Automating the design of graphical presentations of relational information. *ACM Transactions on Graphics*, 5, 110-141. 1986.
- [5] Mackinlay, J. & Genesereth, M.R. Expressiveness and language choice. *Data Knowledge Engineering*, 1, 17-29. 1985.
- [6] Briand, L.C., Morasca, S. & Basili, V.R. Property-based software engineering measurement. *IEEE Transactions on software engineering*, vol. 22, n° 1, pp. 68-85. 1996.
- [7] Poels, G. & Dedene, G. Comments on «Property-based software engineering measurement». *IEEE Transactions on software engineering*, vol. 23, n°, pp. 190-195. 1997.
- [8] Roth, S.F. & Mattis, J. Data characterization for intelligent graphics presentation. In *Proceedings of CH190 (Seattle, April 1-5, 1990)* New York:ACM, 193-200. 1990.
- [9] Arens, Y., Hovy, E. & Vossers, M. The knowledge underlying multimedia presentations. In M. Maybury, editor, *Intelligent Multimedia Interfaces*, pages 280-306. The MIT Press, 1993.
- [10] Shneiderman, B. The Eyes Have It: A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations. *Proceedings of the IEEE Symposium on Visual Languages*. 3-6 Sept. 1996. Page(s):336 – 343. 1996.

- [11] Zhou, M. X. & Feiner, S. K. Data Characterization For Automatically Visualizing Heterogeneous Information. Proceedings of the IEEE Symposium on Visual Languages. 28-29 Oct. 1996. Page(s):13 - 20, 117. 1996.
- [12] Card, S.K. & Mackinlay, J. The structure of the information visualization design space. Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization. 20-21 Oct. 1997 Page(s):92 - 99, 125. 1997.
- [13] Chuah, M. C. & Roth, S. F. On the semantics of interactive visualization. In Proceedings of IEEE Visualization (Vis '96), pages 29–36. IEEE, IEEE Press. 1996.
- [14] Foley, J. D., vanDam, A., Feiner, S. K. & Hughes, J. F. Computer Graphics: Principles and Practice. Addison-Wesley. 1990.
- [15] Tweedie, L. Characterizing interactive externalizations. In conference proceedings on Human factors in computing systems (CHI '97), pages 375–382. ACM, ACM Press. 1997.
- [16] Lee, J. P. & Grinstein, G. G. An architecture for retaining and analyzing visual explorations of databases. In Proceedings of IEEE Visualization (Vis '95), pages 101–108. IEEE, IEEE Press. 1995.
- [17] Chi, E.H. & Riedl, J.T. An Operator Interaction Framework for Visualization Systems. Symposium on Information Visualization (InfoVis '98), Research Triangle Park, North Carolina: 63-70. 1998.
- [18] Hubona, G. S., Shirah, G. W. & Fout, D. G. 3d object recognition with motion. In Extended Abstracts of CHI'97, pages 345–346. ACM. 1997.
- [19] Ware, C. & Franck, G. Viewing a graph in a virtual reality display is three times as good as a 2d diagram. In Proceedings of 1994 IEEE Visual Languages, pages 182–183. IEEE. 1994.
- [20] Wiss, U. & Carr, D. A Cognitive Classification Framework for 3-Dimensional Information Visualization. Technical Report 1998:04, Lulea University of Technology: Computer Science and Electrical Engineering/Software Engineering, Jan 20th 1998.
- [21] Chuah, M. C., Roth, S. F., Mattis, J. & Kolojejchik, J. Sdm: Selective dynamic manipulation of visualizations. In Proceedings of UIST'95, pages 61–70. ACM. 1995.
- [22] Espinosa, O.J., Hendrickson, C. & Garrett, J.H. Domain analysis: a technique to design a user-centered visualization framework. Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization (Info Vis '99). 24-29 Oct. 1999 Page(s):44-52, 144. 1999.
- [23] Pfitzner, D., Hobbs, V. & Powers, D. A unified taxonomic framework for information visualization. 2nd Australian Institute of Computer Ethics Conference (AICE2000), Canberra. Conferences in Research and Practice in Information Technology, Vol. 1. J. Weckert, Ed. 2000.

- [24] Bertin, J. Graphics and graphic information processing. Berlin ; New York: de Gruyter. 1981.
- [25] Amar, R., Eagan, J. & Stasko, J. Low-Level Components of Analytic Activity in Information Visualization. Proceedings of the 2005 IEEE Symposium on Information Visualization. INFO VIS 05. 23-25 Oct. 2005 Page(s):15 – 15. 2005.
- [26] Chung, W., Chen, H., Chaboya, L., O'Toole, C. & Atabakhsh, H. Evaluating event visualization: a usability study of COPLINK spatio-temporal visualizer. International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 62, Issue 1, Jan 2005, Pag 127-157. 2005.
- [27] Feng, W. Algorithms for Drawing Clustered Graphs. PhD thesis, University of Newcastle. 1997.
- [28] Card, S. K., MacKinlay, J. D. & Shneiderman, B. Readings in Information Visualization - Using Vision to Think. Morgan Kaufmann Publishers. 1999.
- [29] Li, W., Hong, S. & Eades, P. A framework for visualising large graphs. Proceedings of Ninth International Conference on Information Visualisation. 6-8 July 2005 Page(s): 528–535. 2005.
- [30] Keim, D., Muller, W. & Schumann, H. Information Visualization and Visual Data Mining. State of the Art Report, Eurographics 2002, 2002.
- [31] Barlow, T. & Neville, P. A Comparison of 2-D Visualizations of Hierarchies. In Proc. of Info-Vis'01, pages 131–138. 2001.
- [32] Stasko, J., Catrambone, R., Guzdial, M. & Mc-Donald, K. An Evaluation of Space-Filling Information Visualizations for Depicting Hierarchical Structures. Journal of Human-Computer Studies, 53:663–694. 2000.
- [33] Schulz, H.-J. & Schumann, H. Visualizing Graphs - A Generalized View. Proceedings of the Information Visualization. 05-07 Jul 2006 Page(s):166–173. 2006.
- [34] Valiati, E., Pimenta, M. & Freitas, C. A taxonomy of tasks for guiding the evaluation of multidimensional visualizations. Proceedings of the 2006 AVI workshop on Beyond time and errors: novel evaluation methods for information visualization. May 2006.
- [35] Plaisant, C. The Challenge of Information Visualization Evaluation. Proceedings of the working conference on Advanced Visual Interfaces (AVI '04), 109-116. 2004.
- [36] InfoVis 2003 Contest: Visualization and Pair Wise Comparison of Trees. IEEE Symposium on Information Visualization. 2003.
- [37] Lee, B., Plaisant, C., Sims Parr, C., Fekete, J-D & Henry, N. Task taxonomy for graph visualization. Proceedings of the 2006 AVI workshop on Beyond time and errors: novel evaluation methods for information visualization. May 2006.
- [38] Wehrend, S. & Lewis, C. A Problem-oriented Classification of Visualization Techniques. Proceedings of the First IEEE

- Conference on Visualization '90, 23-26 Oct. 1990. Page(s):139 - 143, 469. 1990.
- [39] Monk, F. M., Walsh, P. & Dix, A. J. A comparison of hypertext, scrolling and folding as mechanisms for program browsing. In *People and Computers*. Vol. 4, D. M. Jones and R. Winder, Eds. Cambridge University Press, Cambridge, Mass., 421-435. 1988.
- [40] Beard, D. V. & Walker J. Q., II. Navigational techniques to improve display of large two-dimensional spaces. *Behav. Infotech*. 9, 451-466. 1990.
- [41] Donelson, W. Spatial management of information. In *ACM SIGGRAPH '78 Proceedings*. ACM, New York, 203-209. 1978.
- [42] Herot, C. F., Carling, R., Friedell, M. & Framlich, D. A prototype spatial data management system. *Comput. Graph.* 14, 1, 63-70. 1980.
- [43] Leung, Y. K.. Human-computer interaction techniques for map-based diagrams. In *designing and Using Human -Computer Interfaces and Knowledge Based Systems*, G. Salvendy and M. Smith, Eds. Elsevier, Amsterdam, 361-368. 1989.
- [44] Leung, Y. K. & Apperley, M. D. A review and taxonomy of distortion-oriented presentation techniques. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, Volume 1 Issue 2, June 1994. 1994.
- [45] Kennedy, J., Mitchell, K. & Barclay, P. A framework for information visualisation. *ACM SIGMOD Record*, Volume 25 Issue 4. December 1996. 1996.
- [46] Keim, D. A. Designing Pixel-Oriented Visualization Techniques: Theory and Applications. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 6, No. 1, January-March. 2000.
- [47] Kreuseler, M., López, N. & Schumann, H. A Scalable Framework for Information Visualization. *Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization 2000 (InfoVis'00)*. 9-10 Oct. 2000 Page(s):27 - 36. 2000.
- [48] Chi, E.H. A taxonomy of visualization techniques using the data state reference model. *InfoVis 2000. IEEE Symposium on Information Visualization*. 9-10 Oct. 2000 Page(s):69 - 75. 2000.
- [49] Chi. E. H. A Framework for Information Visualization Spreadsheets. Ph.D. Thesis, University of Minnesota, March 1999.
- [50] Keim, D. Information Visualization and Visual Data Mining. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 7, No. 1, January-March 2002.
- [51] Wenzel, S. Verbesserung der Informationsgestaltung in der Simulationstechnik unter Nutzung autonomer Visualisierungswerkzeuge. Dissertation. Series Unternehmenslogistik, ed. A. Kuhn, Dortmund: Verlag Praxiswissen. 1998.
- [52] Wenzel, S., Bernhard, J. & Jensen, U. A taxonomy of visualization techniques for simulation in production and logistics. *Proceedings of the Simulation Conference. 2003 Winter*. Volume 1, 7-10 Dec. 2003 Page(s):729 - 736 Vol. 1. 2003.

- [53] Cohen, M. & Brodlie, K. Focus and context for volume visualization. Proceedings of the Theory and Practice of Computer Graphics. Page(s):32 – 39. 2004.
- [54] Tory, M. & Moller, T. Rethinking Visualization: A High-Level Taxonomy. IEEE Symposium on Information Visualization. 04. 10-12 Oct. 2004. Page:151–158. 2004.
- [55] Burkhard, R.A. Learning from architects: the difference between knowledge visualization and information visualization. Proceedings of Eighth International Conference on Information Visualisation. 14-16 Jul 2004 Page(s): 519 – 524. 2004.
- [56] Ware, C. Information Visualization: Perception for Design. San Francisco, Morgan Kaufmann. 2000.
- [57] Chen, C. Information Visualisation and Virtual Environments. London, Springer. 1999.
- [58] Bertin, J. Graphische Semiologie. Diagramme, Netze, Karten. Berlin, Walter de Gruyter. 1974.
- [59] Spence, B. Information Visualization, ACM Press. 2000.
- [60] Horn, R. Visual Language: Global Communication for the 21. Century. Brainbridge Island, WA, MacroVU. 1998.
- [61] Fiske, J. Communication theory. In Introduction to Communication Studies, John Fiske, Ed. London/New York, Methuen, pp. 6-24. 1982.
- [62] Wurman, R. S. Information Architects. Zurich, Graphis Press Corp. 1996.
- [63] Alavi, M. & Leidner, D. Knowledge Management and Knowledge Management Systems: Conceptual Foundations and Research Issues. In MIS Quarterly, 25 (1), pp. 107-136. 2001.
- [64] Rodrigues, J.F., Traina, A.J.M., de Oliveira, M.C.F. & Traina, C. Reviewing Data Visualization: an Analytical Taxonomical Study. Proceedings of the Information Visualization, 05-07 July 2006. Page(s):713 – 720. 2006.
- [65] Beaudoin, L., Parent, M. A. & Vroomen, L. Cheops: A compact explorer for complex hierarchies. Seventh IEEE Visualization VIS'96, p. 87. 1996.
- [66] Card, S. K., Robertson, G. G. & Mackinlay, J. D. The information visualizer, an information workspace. Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '91), April 27 - May 2, New Orleans. Page(s): 181-188. 1991.

CURRÍCULO

Oscar Hernando Guzmán Cortés.

Ingeniero de Sistemas (grado con honores Cum Laude), y especialización en Gerencia de Informática Organizacional de la Universidad Icesi (Cali, Colombia); estudios de doctorado en Ingeniería Multimedia de la Universidad Politécnica de Cataluña (Barcelona, España). Profesor e investigador de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Icesi. 